



การพัฒนาเครื่องออกกำลังกายกล้ามเนื้อส่วนลำตัว

Development of Trunk Muscle Exercise Machine

สุเมธ เหมะวัฒนะชัย^{1,*}, สะการะ ตันโสภณ, ศิริรัตน์² วงศ์ประกรณ์กุล³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

²ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

³กลุ่มภารกิจงานสาขาเขตและการมีส่วนร่วม สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210

Sumet Heamawatanachai^{1,*}, Sakara Tunsophon², Sirirat Wongprakornkul³

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok 65000

²Department of Physiology, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000

³Cluster of Branch Office Mission and Participation, National Health Security Office, Bangkok 10210

Received 20 May 2021; Received in revised 18 May 2022; Accepted 24 May 2022

บทคัดย่อ

การออกกำลังกายเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยรักษาสุขภาพร่างกายให้แข็งแรง การออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัวเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรง ทำให้ร่างกายมีความสมดุลและมั่นคงในการทำท่าทางในกิจวัตรประจำวันและป้องกันการบาดเจ็บของกระดูกสันหลัง ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่อง TMx (Trunk Muscle Exercise Machine) เพื่อใช้ในการออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัวทั้งในส่วนของกล้ามเนื้อหน้าท้องและกล้ามเนื้อหลังและทดสอบการใช้งานของเครื่อง วิธีการศึกษาเริ่มจากการทดสอบความปลอดภัยของเครื่องรวมถึงการวิเคราะห์ความเค้น ค่าความปลอดภัย หลังจากนั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าความถูกต้องของแรงที่ได้จากสปริงและจากโหลดเซลล์ นอกจากนี้ มีการทดสอบการใช้งานของเครื่อง TMx และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกกำลังกายกล้ามเนื้อส่วนลำตัว ผลการทดลองพบว่า เครื่อง TMx สามารถรับน้ำหนักของผู้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยจากการจำลองด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมพบว่าชุดรอกนึ่ง เมื่อรับน้ำหนักของผู้ใช้ที่ 100 กิโลกรัม จะมีค่าความเค้นสูงสุดที่ 108 เมกะปาสคาล และมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.315 สำหรับการสอบเทียบระบบวัดแรงของเครื่องและประเมินค่าดัชนีของระบบสปริง พบว่าค่าดัชนีของระบบสปริงมีค่า 3.31 นิวตันต่อมิลลิเมตร โดยการวัดแรงจากระบบสปริงกับค่าที่คำนวณจากเครื่องวัดแรงมีความคลาดเคลื่อนกันไม่เกิน 1.7% จากการทดลองใช้เครื่อง TMx พบว่าสามารถปรับโหมดการใช้งานได้ง่ายสำหรับการออกกำลังกายกล้ามเนื้อส่วนลำตัวและซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดแรงที่ใช้ระหว่างออกกำลังกาย จากผลการทดลองสรุปว่าเครื่องออกกำลังกายที่พัฒนาขึ้น (TMx) มีความปลอดภัยและมีความถูกต้องของระบบวัดแรงสูง การปรับโหมดการใช้งาน

ไม่ยากและสามารถนำไปใช้ในการออกกำลังกายกล้ามเนื้อหน้าท้องและกล้ามเนื้อลำตัวได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพเพิ่มเติมในกลุ่มอาสาสมัครต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องออกกำลังกายเสริมสร้างกล้ามเนื้อลำตัว; โหลดเซลล์; ระบบสปริง

Abstract

Regular exercise is recommended for being healthy and maintaining a well-being life. Trunk muscles are one of the most important muscles responsible for balancing and stability. Strengthen these muscles help to improve daily activities and prevent back injury. Therefore, we developed the trunk muscle exercise equipment (TMx) and evaluated the machine's usability. First, the safety of the equipment was analysed, including stress and safety factors. Secondly, the spring attached to the strain gauge load cell was validated. The spring system was adjustable to increase or decrease resistance for exercise training. Finally, the usability of TMx equipment and software were assessed for the trunk muscle workout. From the safety evaluation of the TMx seat, we used an engineering analysis software based on a 100 kg person. The result showed that the seat could support the weight with the maximum stress of 108 MPa, and the safety factor is equal to 2.315. The validation and calibration of the spring system showed that the spring constant value was 3.31 N/mm. The calculation of forces from spring extension and load cell was close, with the difference not over 1.7%. Furthermore, the exercise equipment was easily adjusted to the forward and backward modes for trunk muscle exercise. The software was able to determine the force during the exercise workout. In conclusion, the developed machine (TMx) is safe with high validity of the spring-force measurement system. The adjustability of the TMx mode is easy and can be applied for abdominal and trunk muscle exercises. However, further assessment is required in the large numbers of healthy volunteers to elucidate its effectiveness.

Keywords: Trunk muscle exercise machine; Load cell; Spring system

1. บทนำ

สมรรถภาพทางกาย หมายถึง สภาวะความสมบูรณ์ของร่างกายที่จะประกอบกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สมรรถภาพทางกายมีผลต่อโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของประชากร โดยทั่วไปสมรรถภาพทางกายจะเกี่ยวข้องกับ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscle strength) การประสานสัมพันธ์ (coordination) การรักษาสมดุลและทรงตัว (balance) [1] เป็นต้น ดังนั้นหากมีการออกกำลังกายเป็นประจำจะ

สามารถเพิ่มสมรรถภาพทางกายได้ ส่งผลให้ผู้ออกกำลังกายมีสุขภาพกายและใจที่ดีและสามารถป้องกันการเกิดโรคได้ การออกกำลังกายสามารถช่วยป้องกันและรักษาระบบการทำงานของอวัยวะในระบบต่างๆ เช่น ระบบหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อการทำกิจวัตรประจำวัน ทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาทางสุขภาพ ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ระดับความดันโลหิตและช่วยให้มีน้ำหนักตัวที่เหมาะสมกับเกณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยเสริมสร้างสุขภาพ

จิต ยกระดับคุณภาพชีวิตได้ [2], [3] กล้ามเนื้อส่วนกลางลำตัว เป็นกลุ่มของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการรักษาเสถียรภาพและควบคุมกระดูกเชิงกรานและกระดูกสันหลัง ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดิน การนั่ง การวิ่ง การยกของ [4] จากการศึกษาในปี 2013 พบว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนกลางลำตัวสำคัญต่อความมั่นคงของกระดูกสันหลังในระหว่างการออกกำลังกาย และมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน [5] ในปี 2015 มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบกิจกรรมของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวโดยเปรียบเทียบจากการออกกำลังกาย 2 แบบ ระหว่างการออกกำลังกายด้านกับแรงยืดหยุ่นและเครื่องฝึกออกกำลังกายทั่วไป พบว่า การออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบสามารถเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนแกนกลางด้านหลังได้ [6] นอกจากนี้ ในปี 2019 มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของการฝึกกล้ามเนื้อส่วนลำตัวเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อดูความทนทานของกล้ามเนื้อดังกล่าวที่มีผลต่อการวิ่ง ผลจากการศึกษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าการฝึกกล้ามเนื้อส่วนลำตัวมีส่วนช่วยให้การทรงตัว ความทนทานของกล้ามเนื้อ และการวิ่งมีประสิทธิภาพดีขึ้น [7] จากงานวิจัยหลายงานพบว่า การบริหารกล้ามเนื้อลำตัวเป็นวิธีการเสริมสร้างความแข็งแรงของหลังและหน้าท้อง สามารถลดความเสี่ยงต่อโรคต่างๆ ที่เกิดจากการสูญเสียสมดุลของกล้ามเนื้อรอบลำตัว อาทิเช่น โรคปวดหลัง [8] อย่างไรก็ตาม การบริหารของกล้ามเนื้อส่วนลำตัวบางท่าอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อ [9], [10] หรือต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง [8], [11]

ในปัจจุบันเครื่องออกกำลังกายแบบเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อมีหลากหลายแบบ หลายราคาและมีการสร้างกล้ามเนื้อแต่ละส่วนแตกต่างกัน บางเครื่องออกกำลังกายมีโปรแกรมช่วยฝึกสอนท่าออกกำลังกายหรือโปรแกรมประเมินสมรรถนะ ขณะที่บางเครื่องไม่มีโปรแกรดังกล่าว ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยสนใจพัฒนาเครื่องออกกำลังกายแบบเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อลำตัวซึ่งเป็นส่วนหนึ่ง

ที่ช่วยเพิ่มความสมดุลและมั่นคงของร่างกายให้สามารถเคลื่อนไหวและทรงตัวทำกิจวัตรประจำวันและทำกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงป้องกันการเกิดการบาดเจ็บของกระดูกสันหลังด้วย [12] กล้ามเนื้อลำตัวประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 กลุ่ม ได้แก่ กล้ามเนื้อหน้าท้อง (Anterior abdominal Muscles) และกล้ามเนื้อหลัง (Posterior back Muscles) กล้ามเนื้อหน้าท้อง ได้แก่ rectus abdominis, external abdominal oblique , internal abdominal oblique ซึ่งทำหน้าที่ช่วยในการงอหรือเอียงตัว เพิ่มแรงดันในหน้าท้อง และทำให้สร้างความมั่นคงให้กับการนั่ง การยืน การเดินและการทำกิจกรรมต่างๆ กล้ามเนื้อหลัง ได้แก่ Multifidus, erector spinae ซึ่งมีหน้าที่ในการทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของหลัง พยุงกระดูกสันหลังและสร้างความสมดุลให้กับลำตัว [13]

เครื่องบริหารกล้ามเนื้อลำตัวที่พัฒนาขึ้นนี้มีโครงสร้างหลักเป็นวัสดุเหล็กเพื่อให้มีความแข็งแรงทนทานเพียงพอในการใช้งาน โดยมีข้อแตกต่างจากเครื่องออกกำลังกายทั่วไป ด้วยความสามารถในการปรับระดับแรงต้านให้เหมาะสมกับสมรรถนะของผู้ใช้ อุปกรณ์ได้ซึ่งจะช่วยไม่ให้เกิดการบาดเจ็บกล้ามเนื้อจากการใช้อุปกรณ์ ร่วมกับการพัฒนาอุปกรณ์วัดแรงและมีการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อการวัดแรงระหว่างการออกกำลังกาย เพื่อประโยชน์ในการให้ผู้ใช้สามารถเห็น feedback ทันทีขณะออกกำลังกายซึ่งเป็นการเพิ่มแรงจูงใจให้อยากออกกำลังกาย นอกจากนี้ ยังมีหน้าจอที่สามารถแสดงผลขณะออกกำลังกายได้อย่างชัดเจน โดยการพัฒนาโปรแกรมในงานวิจัยนี้ พัฒนาบนภาษา LabView ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ มีการใช้อย่างแพร่หลายในระบบควบคุมเครื่องมือวัด เช่น การใช้ในระบบการประเมินแรงที่กระทำต่อฝ่าเท้าของคนไข้ที่ใช้ใส่เครื่องช่วยปรับการเดิน [14] และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการใช้งานอุปกรณ์ออกกำลังกาย [15] ซึ่งข้อดีของภาษานี้คือการเขียนโปรแกรมเป็นแบบภาษารูปภาพ (Graphical Language) ช่วยให้การพัฒนาโปรแกรม

ทำได้อย่างรวดเร็ว มี libraries ต่างๆในการเชื่อมต่อกับ Hardware และ Software ได้มากมาย อีกทั้งมีหน้าจอติดต่อกับผู้ใช้ (Graphic User Interface หรือ GUI) ที่ง่ายแก่การใช้งานและพัฒนาต่อยอด ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมีการใช้โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge Load cell) ในการวัดแรงระหว่างการออกกำลังกาย โดยหลักการของโหลดเซลล์ประเภทนี้ก็คือ เมื่อน้ำหนักมากระทำ ความเครียด (Strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ โดยสเตรนเกจจะเชื่อมต่อด้วยวงจรเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำ

ไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึงส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า [16]

2. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) เพื่อพัฒนาเครื่องออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัว (TMx) และพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการใช้งานอุปกรณ์ โดยมีวิธีการศึกษา 5 ขั้นตอน (Figure 1.)

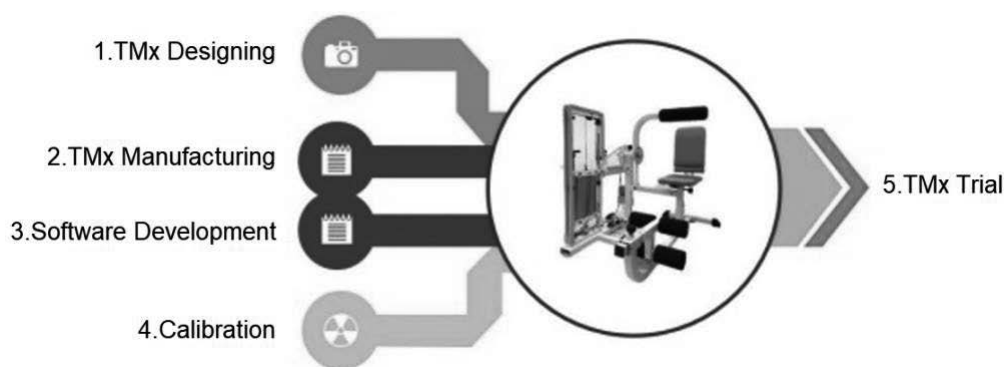


Figure 1 Diagram showing the development of the trunk muscle exercise machine; TMx.

2.1 TMx designing

โดยทำการออกแบบ TMx ด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 โดยการสร้างแบบจำลองเครื่องออกกำลังกายเพื่อนำไปวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม สำหรับเน้นความปลอดภัยของการใช้และวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานโดยขั้นตอนการพัฒนาในส่วนเบาะรองนั่ง (Figure 2) โดยในการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 นั้น ทางผู้วิจัยเลือกใช้คุณสมบัติของวัสดุเหล็ก (Steel Non-Alloy) (Table 1) สำหรับส่วนโครงโลหะชุดเบาะรองนั่ง และเลือกใช้วัสดุรองนั่งเป็นโฟม (Polystyrene Expanded) และฐาน

ของเบาะรองนั่งเลือกใช้วัสดุไม้ MPF (Medium Density Fiberboard) มาใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรง โดยชุดเบาะรองนั่ง มีความกว้าง 300 มิลลิเมตร หนา 40 มิลลิเมตร และความยาว 410 มิลลิเมตร ส่วนพนักพิงได้ออกแบบให้มีความกว้าง 300 มิลลิเมตร หนา 40 มิลลิเมตร และความยาว 470 มิลลิเมตร โดยสามารถปรับมุมของพนักพิงได้ 5 ระดับ และสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 100 กิโลกรัม โดยมีค่าความเค้นของโครงโลหะสูงสุดที่ 108 MPa และมีค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: Min FOS) เท่ากับ 2.315

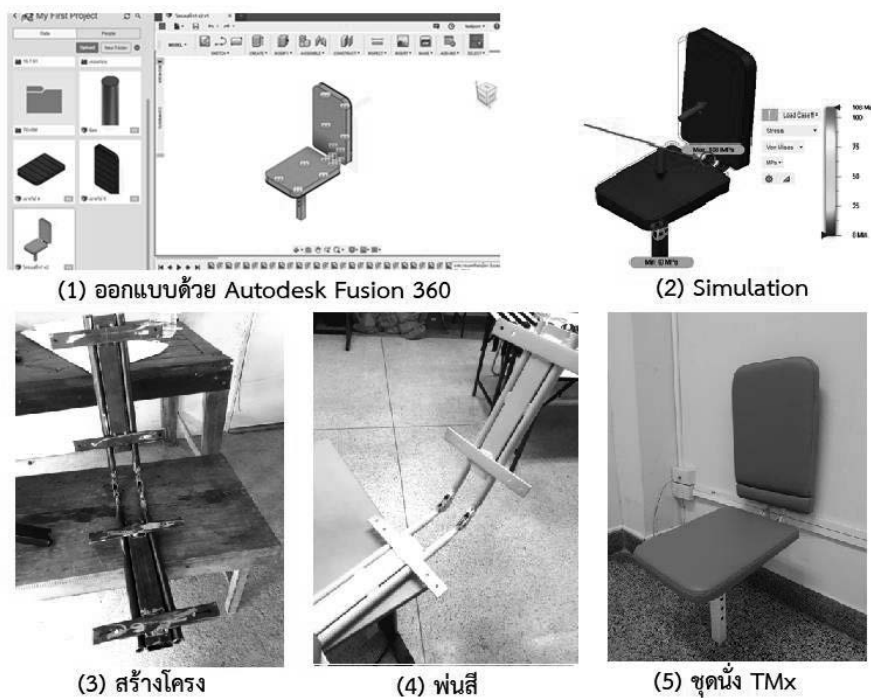


Figure 2 Seat design process of the TMx.

Table 1 Material properties for simulation with Autodesk Fusion 360.

Material	Steel Non-Alloy	Polystyrene Expanded	MPF (Medium Density Fiberboard)
Density	$7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$	$5 \times 10^{-8} \text{ kg/mm}^3$	$8 \times 10^{-7} \text{ kg/mm}^3$
Young's Modulus	210000 MPa	27.5 MPa	2400 MPa
Young's Ratio	0.3	0.275	0.25
Yield Strength	250 MPa	0.9 MPa	7.72 MPa
Ultimate Tensile Strength	300 MPa	1.1 MPa	7.72 MPa
Thermal Conductivity	0.047 W/(mm C)	$3.7 \times 10^{-5} \text{ W/(mm C)}$	$1.2 \times 10^{-4} \text{ W/(mm C)}$
Thermal Expansion Coefficient	$1.2 \times 10^{-5} /C$	$1.26 \times 10^{-4} /C$	$1 \times 10^{-7} /C$
Specific Heat	480 J/(kg C)	1210 J/(kg C)	1300 J/(kg C)

2.2 TMx Manufacturing

การผลิตเครื่องออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัว โดยดำเนินการสร้างเครื่อง TMx (Figure 3) โดยมีส่วนประกอบหลายส่วน เช่น 1) แผ่นปรับมุม, 2) Rotary

Encoder, 3) Microcontroller, 4) โหลดเซลล์และชุดสปริง, 5) เบาะรองนั่ง และ 6) ก้านจับ เป็นต้น โดยหลักการทำงานของเครื่องคือ ก้านจับจะสามารถยึดติดกับแผ่นปรับมุมที่องศาต่างๆ ตามต้องการด้วยการยึดหมุดเข้า

กับรูที่แผ่นปรับมุมตามโหมตการออกกำลังกาย โดยเมื่อผู้ใช้นั่งก้นหมุน (ก้นจับซึ่งมีแกนหมุนได้) ไปข้างหน้าหรือดึงก้นหมุนมาด้านหลัง จะทำให้แผ่นหมุนซึ่งเชื่อมต่อกับกลไกสายสลึงมีการหมุนตาม ทำให้สายสลึงดึงชุดสปริงให้ยืดออกซึ่งเป็นการสร้างแรงต้านระหว่างการออกกำลังกาย โดยปลายอีกด้านของชุดสปริงมีการยึดติดกับโพลดเซลล์เพื่อใช้วัดแรง นอกจากนี้มุมของแผ่นหมุนที่หมุนไปจะมีการวัดด้วยเซ็นเซอร์วัดมุม (Rotary encoder) ทำให้ระบบสามารถรับรู้ได้ว่าผู้ใช้งานดันก้นจับไปที่มุมเท่าไร นอกจากนี้ชุดเบาะรองนั่งสามารถปรับมุมได้ 5 ระดับ ซึ่งจะทำความเอียงเริ่มต้นระหว่างการออกกำลังกายมีความแตกต่างกัน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถออกกำลังกายได้กล้ามเนื้อหลายส่วนตามมุมมององศาที่เลือก โดย

ระบบนี้สามารถปรับแรงต้านได้อย่างง่ายด้วยการปรับความตึงเริ่มต้นจากการยืดหมุดที่รูต่างกัน รวมทั้งระยะช่วงมุมที่ดันหรือดึงก้นจับระหว่างการออกกำลังกาย (ซึ่งจะอยู่ในช่วงมุมหมุนประมาณ 0 ถึง 90 องศา) และแรงจะเพิ่มขึ้นตามมุมหมุนที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับสัญญาณจากโพลดเซลล์และเซ็นเซอร์วัดมุม (rotary encoder) เพื่อส่งค่าแรงและมุมให้กับคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ทำการประมวลผล โดยระบบนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือกหมุดรูยึดที่เหมาะสมกับแต่ละคนและเลือกช่วงมุมหมุนในการออกกำลังกายได้ โดยจะมีการแสดงผลแรงและความเร็วได้ทางหน้าจอโปรแกรมเพื่อเป็น Feedback ให้ผู้ใช้งานออกกำลังกายได้ด้วยความเร็วที่เหมาะสมกับตนเองได้



Figure 3 Components of the TMx

2.3 Software Development

การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการออกกำลังกายกล้ามเนื้อส่วนลำตัว (TMx) โดยผู้วิจัยได้พัฒนาซอฟต์แวร์บนภาษา LabVIEW ซึ่งเป็นภาษารูปภาพ (G: Graphical Language) ง่ายในการพัฒนา และเป็นภาษาที่นิยมใช้กับการเชื่อมต่อกับเครื่องมือในการวัดค่าสำหรับงานในด้าน

วิศวกรรม นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino ในการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดแรง (โพลดเซลล์) และเซ็นเซอร์วัดมุม (Rotary encoder) ในการวัดค่าแรง และมุมของก้นหมุนระหว่างใช้งาน และส่งค่าให้กับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลแรงและมุมลงไฟล์ข้อมูลได้ โดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

ถูกจัดทำมาในรูปแบบเกม ประกอบด้วย 10 หน้าจอ
 1) หน้าจอแสดงชื่อพร้อมรูปเครื่องออกกำลังกายและ
 เมนูการใช้งาน 2) หน้าจอวิธีการใช้งาน 3) หน้าจอข้อมูล
 ผู้ใช้งาน 4) หน้าจอกำหนดท่าการเคลื่อนที่และช่วงมุม
 ที่บริหาร 5) หน้าจอตั้งค่าเครื่อง 6) หน้าจอแสดงผล
 7) หน้าจอโหมดแข่งขัน 8) หน้าจอแข่งขัน 9) หน้าจอ
 ผลการแข่งขัน 10) หน้าจอผลการใช้งาน โดย Figure 4.
 แสดงตัวอย่างหน้าจอซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้ โดยหลัก
 การประเมินการเคลื่อนไหวระหว่างการออกกำลังกายนั้น
 ทำได้จากการนำค่าแรง ค่ามุม และเวลา ระหว่างการออก
 กกำลังกาย มาประมวลผล ซึ่งจะสามารถนำมาใช้ประกอบ
 การคำนวณพลังงานระหว่างการออกกำลังกายได้ โดย

ผู้ใช้สามารถบันทึกข้อมูลระหว่างการออกกำลังกายลง
 ไฟล์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกับผลการออกกำลังกายครั้ง
 อื่นได้ ในด้านโหมดการออกกำลังกายด้วยเครื่องนี้มีการ
 เคลื่อนไหวหลักสองแบบคือโหมดดันไปด้านหน้าและดึง
 มาด้านหลัง ซึ่งความตึงสปริงจะมีความสัมพันธ์กับหมุด
 ยึดที่เลือก และความเอียงเบาะรองนั่ง สำหรับโหมดการ
 แข่งขันในเกมจะเป็นการเลือกตัวละครเพื่อแข่งขันซึ่งจะมี
 ความยากด้านความเร็วในการวิ่งในเกมที่แตกต่างกันเช่น
 ถ้าเลือกแข่งกับเต่าจะวิ่งช้า และเลือกแข่งกับเสือจะวิ่งเร็ว
 ซึ่งผู้ใช้ต้องใช้ความเร็วรอบในการดันก้านหมุนมากขึ้นเพื่อ
 จะชนะการแข่งขันได้

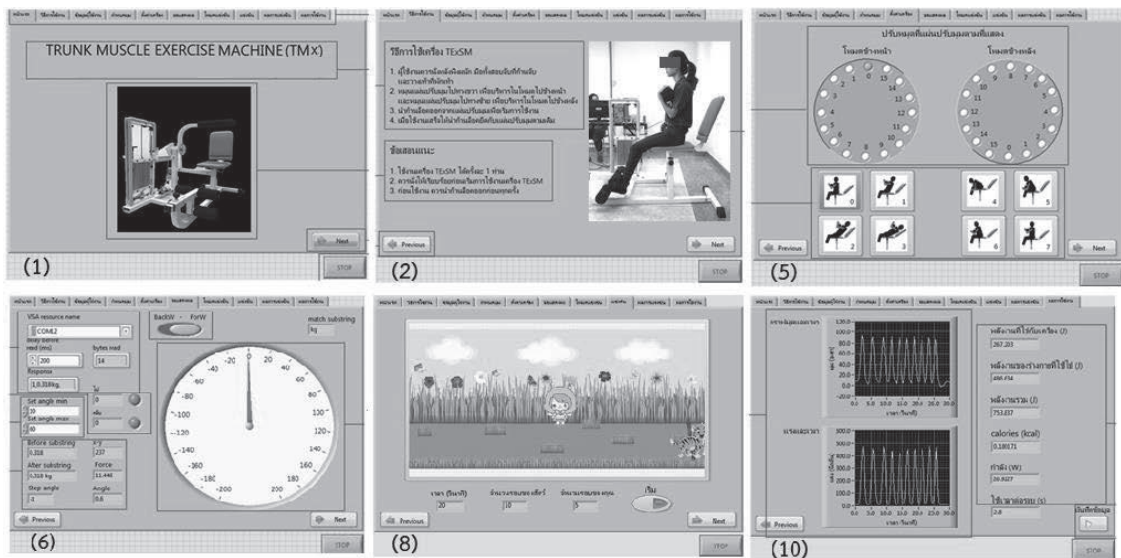


Figure 4 Examples of the game software display screens.

2.4 การสอบเทียบ (Calibration)

การสอบเทียบเซ็นเซอร์ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 1) การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมที่หมุน
 ไปของแกนหมุนและระยะยืดสปริง ในโหมดปรับไป
 ข้างหน้าและไปข้างหลังแสดงใน Figure 5. โดยเริ่มจาก

มุม $9^\circ - 99^\circ$ พบว่าค่ามุมของแกนหมุนมีความสัมพันธ์
 กับระยะยืดของสปริงแบบเส้นตรงทั้งโหมดข้างหน้าและ
 ข้างหลัง โดยสามารถใช้สมการเส้นตรงในการประมาณ
 ค่าได้โดยมีค่า R^2 โหมดข้างหน้าและโหมดข้างหลัง คือ
 99.84% และ 99.93% ตามลำดับ

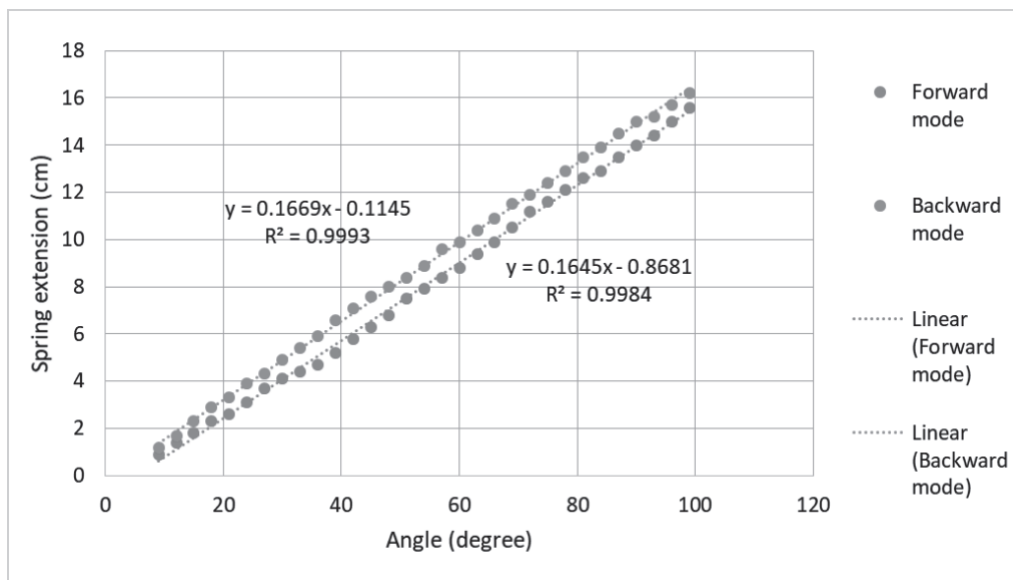


Figure 5 The relationship between the angle of rotation of the grip and the extension of the spring.

2) สอบเทียบโพลดเซลล์และหาค่านิจของระบบสปริงโดยใช้ถ่วงน้ำหนักขนาด 10, 15 และ 20 กิโลกรัม แขนงที่ก้านจับเพื่อสร้างโมเมนต์ให้กับจุดหมุน (Figure 6) โดยจะทำให้สปริงยืดออกเพื่อด้านโมเมนต์จากถ่วงน้ำหนัก โดยใช้สมการสมดุลโมเมนต์จะทำให้ได้ค่านิจของระบบสปริง โดยโพลดเซลล์จะรับปลายด้านหนึ่งของชุดสปริงไว้ทำให้แรงของสปริงถูกถ่ายมาที่โพลดเซลล์ทำให้ได้ค่าตัวคูณในการสอบเทียบโพลดเซลล์ที่ถูกต้อง ผลการทดลอง (Table 2) พบว่า ค่าแรงต้านสปริง (F_s) คำนวณได้จากสมการสมดุลโมเมนต์จากการแขวนถ่วงน้ำหนักขนาดต่างๆ มีแนวโน้มสอดคล้องกับความ

ยาวสปริง (L_s) ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง และสอดคล้องกับค่าสัญญาณดิบที่ได้จากโพลดเซลล์ก่อนสอบเทียบ (MLC) ทั้งนี้การหาค่านิจสปริงนั้นต้องหาจากความยาวที่เปลี่ยนแปลงของการทดสอบที่ถ่วงน้ำหนักต่างกัน (Table 3) พบว่า ค่านิจของระบบสปริง มีค่า 3.31 นิวตันต่อมิลลิเมตร โดยโพลดเซลล์ในงานวิจัยนี้มีการอ่านสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณรุ่น HX711 โดยผลการทดสอบพบว่าค่าตัวคูณโพลดเซลล์กับตัวขยายสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ประมาณ 36 (Table 3) โดยการคำนวณแรงจากการยืดของสปริงและค่าคำนวณจากโพลดเซลล์ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1.7%



Figure 6 Testing the spring stiffness and load cell multiplier.

Table 2 Effect of weight on spring length and signal from load cell.

Mass of bag M_b (kg)	Spring force F_s (N)	Spring length L_s (cm)	Signal from loadcell (M_{LC})
10	344.52	35.34	5.32
15	522.36	40.77	10.24
20	691.02	45.80	14.95

Table 3 Calculation of spring stiffness and load cell multipliers.

Compare of bag mass (kg)	calculation of spring stiffness (k) (N/mm)	ratio of spring force and signal from loadcell $\Delta F_s / \Delta M_{LC}$
between 10 & 15	3.28	36.15
between 15 & 20	3.35	35.78
between 10 & 20	3.31	35.97
Average	3.31	35.97

2.5 การทดลองใช้งาน (TMx Trial)

ประกอบด้วย 1) การทดสอบความเชื่อมั่นของระบบวัดแรงที่ตำแหน่งต่างๆ (Figure 7) โดย (Figure 7A.) ก้านจับยึดเข้ากับรูแผ่นปรับมุมที่หมายเลข 0 ซึ่งเป็นโหมดข้างหน้า โดยเมื่อดันก้านจับไปด้านหน้า (ทิศทางด้านซ้ายใน (Figure 7A.) จะทำให้สายสลิงเคลื่อนไปด้านขวาซึ่งจะไปดึงสปริงให้ยืดออก ในกรณี (Figure 7B) มีการหมุนแผ่นปรับมุมให้หมายเลข 8 อยู่ด้านบน ทำให้สายสลิงขึ้นมาอยู่ด้านบนของจุดหมุน และก้านจับยึดที่หมายเลข 8 ซึ่งเป็นโหมดไปด้านหลัง โดยเมื่อดึงก้านจับทางขวา จะทำให้สายสลิงเคลื่อนที่ไปด้านขวาและดึงสปริงให้ยืดออกเช่นกัน โดยการทดสอบทำโดยผู้ทำการทดลองดันก้านในช่วงระยะมุม $0^\circ - 60^\circ$

โหมดข้างหน้า โดยทดสอบตำแหน่งมุมที่ 0, 14 และ 15 และโหมดข้างหลังทดสอบตำแหน่งมุมที่ 8, 9 และ 10 ซึ่งในแต่ละทิศทาง ไม่ว่าจะเริ่มต้นที่มุมหมายเลขใดเมื่อดันก้านจับไปเป็นมุมเท่ากัน ควรมีค่าแรงที่วัดได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงใน (Table 4) โดยจากการทดลอง อย่างละ 10 ครั้ง พบว่าเมื่อยึดมุมตำแหน่งหมายเลข 0 และดันก้านจับไปเป็นมุม 60 องศา จะได้ค่าแรงเฉลี่ย 326.52 นิวตัน โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ 6.12 นิวตัน โดยจากผลที่ได้พบว่าค่าแรงที่อ่านได้จากโหมดข้างหน้าและข้างหลังทั้งหมดมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่อนข้างต่ำแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของระบบวัดแรง ของเครื่อง TMx ทั้งโหมดข้างหน้าและข้างหลัง

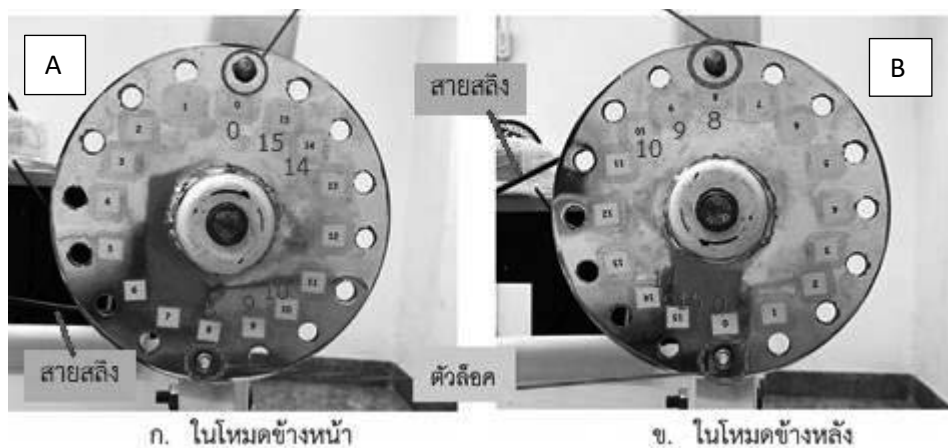


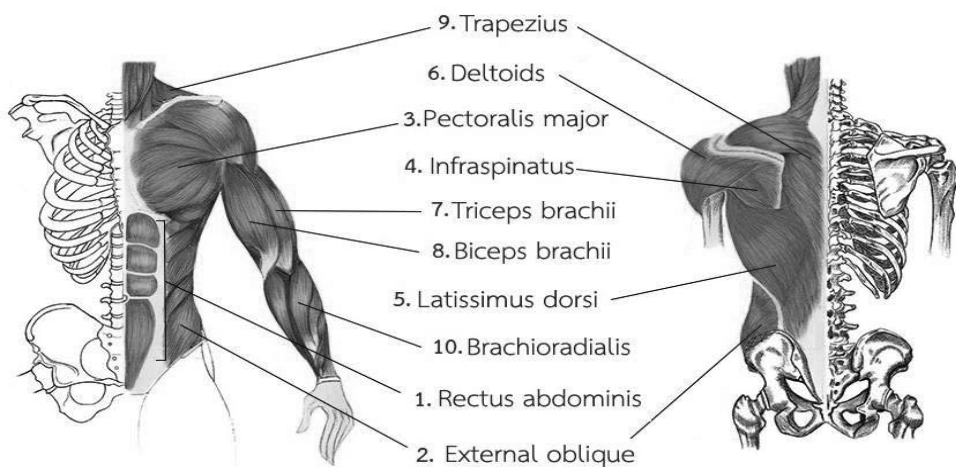
Figure 7 Rotation plate and the lock of A; forward mode and B; backward mode.

Table 4 Reliability of force measurement from the machine in forward and backward mode.

Forward mode	Pin lock number	Angle(degree)	Force from load cell (N)	SD of force from load cell (N)
	0	0 - 60	326.52	6.12
	15	0 - 60	339.47	5.87
	14	0 - 60	330.80	5.27
Backward mode	Pin lock number	Angle(degree)	Force from load cell (N)	SD of force from load cell (N)
	8	0 - 60	320.08	3.78
	9	0 - 60	315.99	3.66
	10	0 - 60	312.66	1.80

เมื่อนำเครื่อง TMx มาทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อประเมินออกแรงในกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (Figure 8) โดยมีกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย จำนวน 10 ส่วน คือ 1) Rectus abdominis, 2) External oblique, 3) Pectoralis major, 4) Infraspinatus, 5) Latissimus dorsi, 6) Deltoids, 7) Triceps brachii, 8) Biceps brachii, 9) Trapezius และ 10) Brachioradialis โดยจากการทดลองโหมด ข้างหน้า แล้วเคลื่อนตัวไปด้านหลังที่ระยะมุม 60°

กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง ณ ตำแหน่งมุมที่ 0 ประกอบด้วยหมายเลข 1, 2, 4, 5 ดัง (Figure 9) โดยมีการเริ่มต้นด้วยการนั่งตรงและดันไปข้างหน้าท่ามุม 60 องศา สำหรับกรณีเริ่มตำแหน่งมุมที่ 15 แล้วดันไปด้านหลัง 60 องศา พบว่ากล้ามเนื้อที่ใช้ระหว่างการออกกำลังกาย ประกอบด้วยหมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (Figure 10.) และกล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง ณ ตำแหน่งมุมที่ 14 ประกอบด้วยหมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (Figure 11)

**Figure 8** Muscles involved in exercise with TMx.

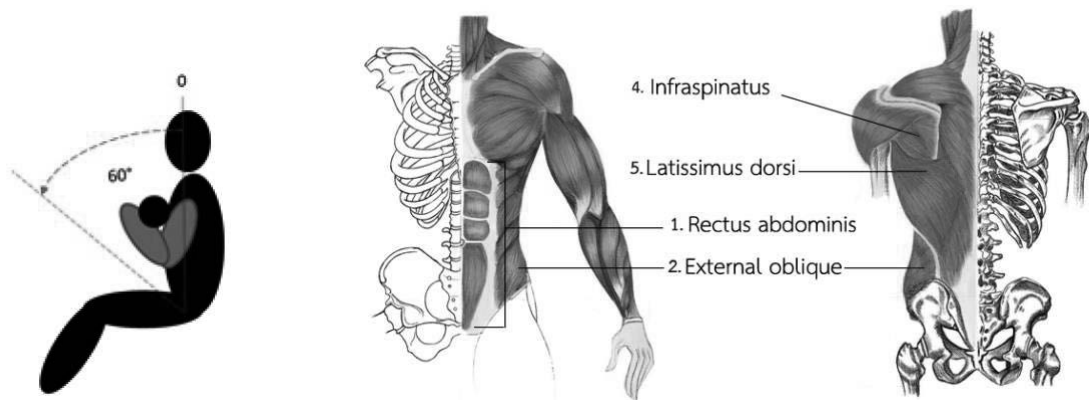


Figure 9 Muscles involved in exercise with TMx in forward mode at the position pin 0.

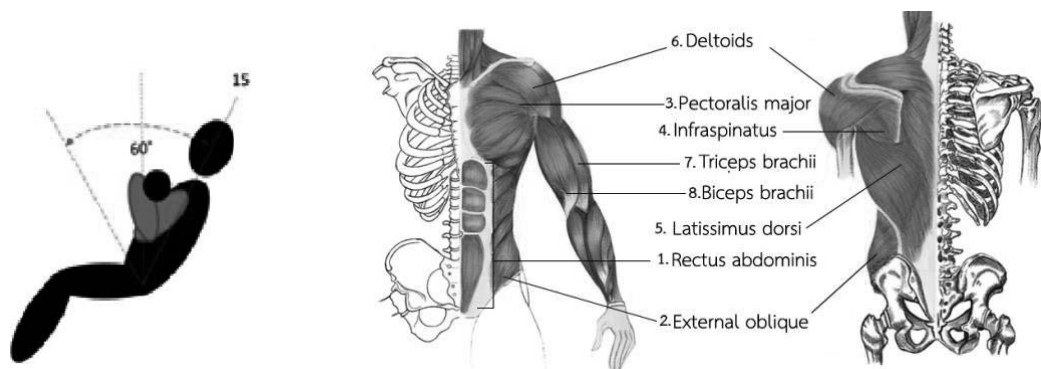


Figure 10 Muscles involved in exercise with TMx in forward mode at the position pin 15.

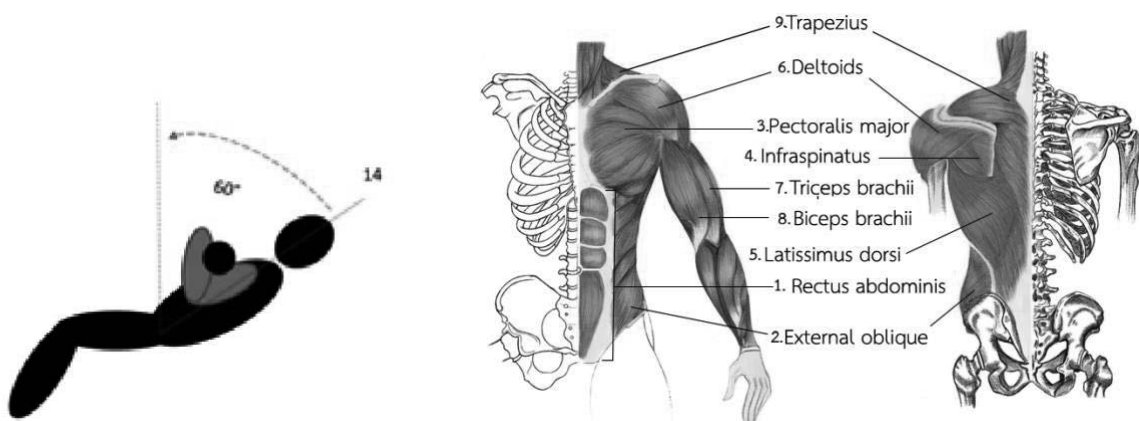


Figure 11 Muscles involved in exercise with TMx in forward mode at the position pin 14.

สำหรับการทดลองโหมดข้างหลัง โดยจากจุดเริ่มต้นเคลื่อนตัวไปด้านหลังที่ระยะมุม 60° กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง ณ ตำแหน่งหมุดที่ 8 ประกอบด้วยหมายเลข 1, 2, 4, 5, 6 กล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง ณ ตำแหน่งหมุด

ที่ 9 ประกอบด้วย หมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10 และกล้ามเนื้อส่วนที่ได้ออกแรง ณ ตำแหน่งหมุดที่ 10 ครบทั้ง 10 หมายเลข (Figure 12-14)

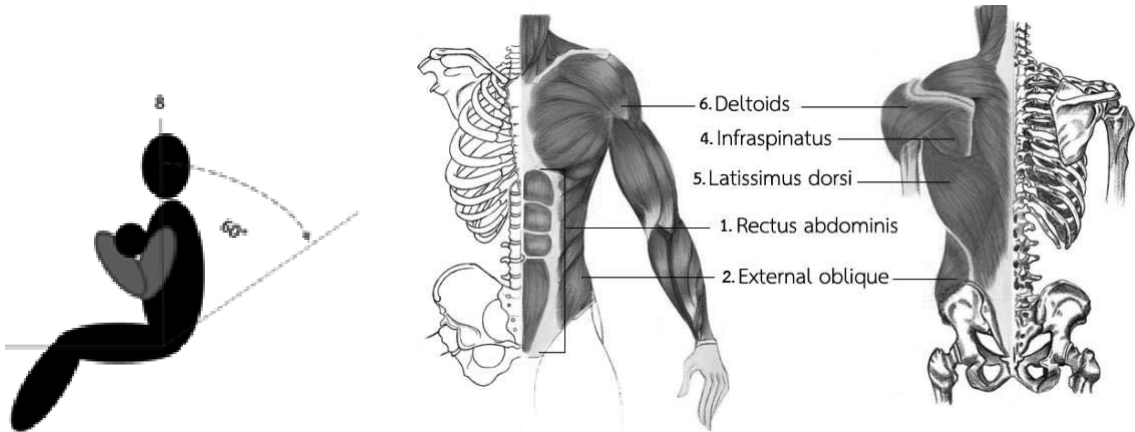


Figure 12 Muscles involved in exercise with TMx in backward mode at the position pin 8.

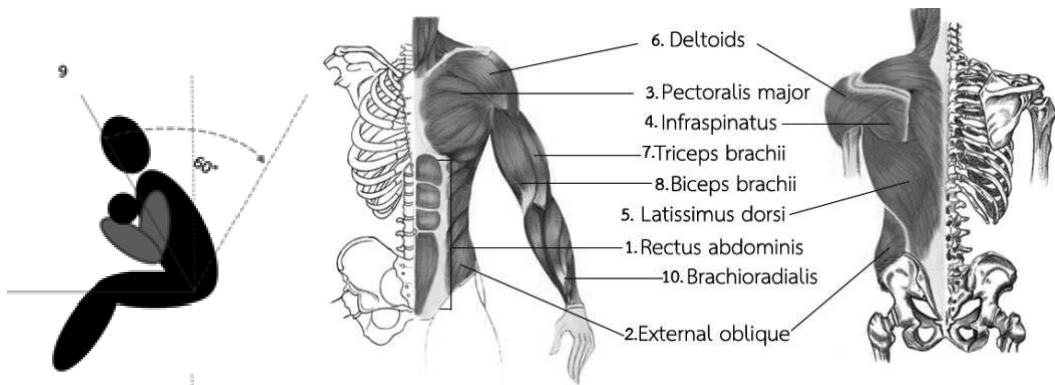


Figure 13 Muscles involved in exercise with TMx in backward mode at the position pin 9.

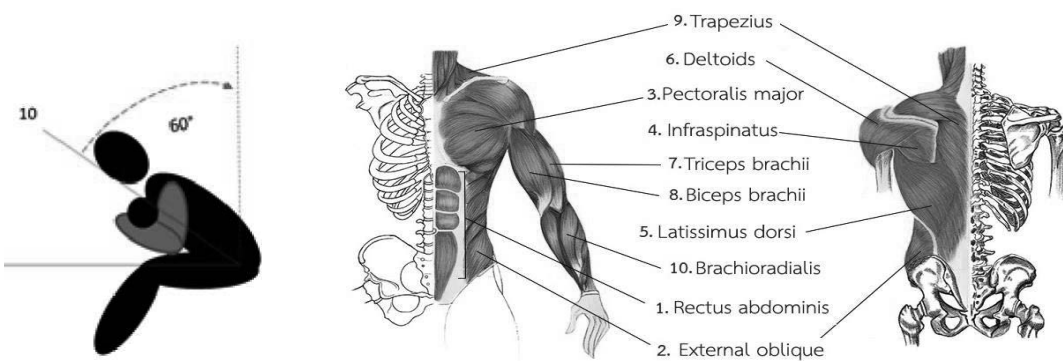


Figure 14 Muscles involved in exercise with TMx in backward mode at the position pin 10.

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่อง TMx สามารถใช้ในการออกกำลังได้หลากหลายโดยสามารถปรับเปลี่ยนมุมมองการเริ่มต้นและระยะมุมเคลื่อนไหวได้ ซึ่งจะมีผลต่อกล้ามเนื้อลำตัวที่แตกต่างกันตามโหมดและช่วงมุมที่เลือก ทั้งนี้ผลการทดสอบพบว่าเครื่อง TMx มีศักยภาพในการใช้ออกกำลังกายและเสริมสร้างกล้ามเนื้อหน้าท้องและกล้ามเนื้อหลังได้

3. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

เครื่องออกกำลังกายกล้ามเนื้อส่วนลำตัว (TMx) ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องที่สร้างแรงต้านระหว่างการออกกำลังกายจากระบบสปริง โดยเมื่อผู้ใช้งานดันก้านจับจะทำให้สายสลิงที่เชื่อมโยงเคลื่อนที่ตามและไปดึงปลายด้านบนของสปริงให้เคลื่อนที่ขึ้นโดยปลายอีกฝั่งหนึ่งของระบบสปริงจะถูกยึดติดกับโพลีเซลล์ทำให้แรงดึงสปริงถูกวัดจากโพลีเซลล์ได้ โดยเมื่อผู้ใช้งานดันหรือดึงก้านจับให้หมุนไปมากขึ้น จะทำให้เกิดแรงต้านจากระบบสปริงเพิ่มมากขึ้นตามโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยโหมดการใช้งานหลักของเครื่องมีสองโหมดคือ โหมดดันไปข้างหน้าและโหมดดึงไปข้างหลัง ทำให้สามารถออกกำลังกล้ามเนื้อได้ทั้งหน้าท้องส่วนหน้าและหลัง อีกทั้ง TMx ยังปรับระดับความตึงและมุมเริ่มต้นได้อย่างง่าย โดยการปรับหมุดยึดแป้นหมุนให้อยู่ในหมายเลขที่แตกต่างกันซึ่งก็จะให้ผลต่อกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันระหว่างการออกกำลังกาย

ในการออกแบบอุปกรณ์นั้นทางผู้วิจัยได้เขียนแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม Autodesk Fusion 360 ซึ่งเป็นโปรแกรมด้านการออกแบบทางวิศวกรรม โดยมีการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความเสี่ยงกับการเสียหาย คือ ชิ้นส่วนที่นั้งปรับมุมเอียงได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Autodesk Fusion 360 พบว่าที่นั้งที่ออกแบบมารองรับน้ำหนักได้ประมาณ 100 กิโลกรัม ด้วยค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: Min FOS) เท่ากับ 2.315 สำหรับการสอบเทียบอุปกรณ์นั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้ถ่วงน้ำหนักสามขนาดคือ 10, 15 และ 20 กิโลกรัม มาแขวน

บนก้านจับและใช้สมการสมมูลโมเมนต์ ทำให้สามารถคำนวณแรงต้านจากระบบสปริงได้ ซึ่งแรงนี้จะถูกส่งถ่ายไปที่เครื่องวัดแรง (โพลีเซลล์) ด้วย ทำให้สามารถสอบเทียบโพลีเซลล์เพื่อให้ได้ค่าตัวคูณสำหรับแปลงค่าสัญญาณดิบที่อ่านได้ไปเป็นค่าแรงดึงในหน่วย นิวตัน โดยโพลีเซลล์ในงานวิจัยนี้มีการอ่านค่าด้วยวงจรขยายสัญญาณรุ่น HX711 ซึ่งเป็นรุ่นที่ราคาถูกแต่ค่าที่อ่านได้ต้องมีการสอบเทียบและปรับค่าก่อนจึงจะสามารถอ่านค่าแรงได้ถูกต้อง

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เขียนบนภาษา LabView โดยมีหน้าจอการทำงานอยู่ 10 หน้าจอ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกโหมดการทำงาน และหมายเลขหมุดยึดบนแป้นหมุนได้เหมาะสม ทำให้การคำนวณแรงระหว่างการออกกำลังกายได้อย่างถูกต้อง โดยยังมีส่วนของเกมให้ผู้ใช้งานออกกำลังกายเร็วหรือช้าตามโหมดที่เลือกได้โดยเมื่อเล่นเกมด้วยเครื่องนี้เสร็จจะมีหน้าจอแสดงผลกราฟแรงที่ใช้ระหว่างการออกกำลังกาย ทำให้ทราบจำนวนรอบ ความเร็ว ช่วงมุม และแรง สามารถบันทึกผลลงไฟล์ และประเมินพลังงานระหว่างการออกกำลังกาย การที่ผู้ใช้สามารถเห็น feedback จากหน้าจอแบบ real time ได้ จะส่งผลให้ผู้ใช้มีแรงกระตุ้นในการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้ เป็นจุดเด่นที่เครื่อง TMx เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องออกกำลังกายชนิดอื่นที่มีในท้องตลาด

จากผลการวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า เครื่อง TMx ที่พัฒนาขึ้นมีความปลอดภัยและมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับการออกกำลังกล้ามเนื้อลำตัวได้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการออกกำลังกล้ามเนื้อส่วนลำตัว สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการทำกิจวัตรประจำวัน รวมถึงสามารถป้องกันการเกิดการปวดหลังหรือบาดเจ็บของกระดูกสันหลังได้ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เป็นกรายงานการพัฒนาและออกแบบเครื่องออกกำลังกายส่วนลำตัว ซึ่งไม่ได้มีการทดสอบในอาสาสมัคร ดังนั้น ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในขั้นต่อไป คือ การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง TMx

ต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัวในกลุ่มอาสาสมัคร เพื่อให้ทราบประโยชน์ที่ได้รับที่มีต่อสมรรถภาพของกล้ามเนื้อเมื่อใช้เครื่องที่พัฒนาขึ้น

4. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) ประจำปีงบประมาณ 2563 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวปาริชาติ กิตติตันยรักษ์, นางสาวอติพร กำภู ณ อยุธยา, นางสาวอรปรียา ภูมาลา จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ช่วยในการทดลอง และนางสาวนรารัตน์ ขอบสวย จากคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับการวาดรูปประกอบ และขอขอบคุณสำนักงานหลักประกันสุขภาพที่ให้การสนับสนุนในการพัฒนางานวิจัยในครั้งนี้

5. References

- [1] Chang, M., Kim, H., Shigematsu, R., Nho, H., Nishijima, T. and Tanaka, K., 2001, Functional fitness may be related to life satisfaction in older Japanese adults, *Int. J. Aging Hum Dev.* 53(1):35-49.
- [2] Warburton, DE., Nicol, CW. and Bredin, SS., 2006, Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ.* 174(6): 801-9.
- [3] Chen, MS., Lin, TC. and Jiang, BC., 2015, Aerobic and resistance exercise training program intervention for enhancing gait function in elderly and chronically ill Taiwanese patients, *Public Health.* 129(8):1114-24.
- [4] Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*, 36(3), 189–198. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636030-00001>
- [5] Barati, A., SafarCherati, A., Aghayari, A., Azizi, F., & Abbasi, H. (2013). Evaluation of relationship between trunk muscle endurance and static balance in male students. *Asian Journal of Sports Medicine*, 4(4). <https://doi.org/10.5812/asjasm.34250>
- [6] Vinstrup, J., Sundstrup, E., Brandt, M., Jakobsen, M. D., Calatayud, J., & Andersen, L. L. (2015). Core muscle activity, exercise preference, and perceived exertion during core exercise with Elastic Resistance Versus Machine. *Scientifica*, 2015, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2015/403068>
- [7] Hung, K.-C., Chung, H.-W., Yu, C. C.-W., Lai, H.-C., & Sun, F.-H. (2019). Effects of 8-week core training on core endurance and running economy. *PLOS ONE*, 14(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213158>
- [8] McGill S., 2007, Low back disorders: evidence-based prevention and rehabilitation, *Human Kinetics*.
- [9] Brouns, F., Saris, WH. and Rehrer, NJ., 1987, Abdominal complaints and gastrointestinal function during long-lasting exercise, *Int J Sports Med.* 8(3):175-89.
- [10] Leslie, BR., 1983, Exercise-induced abdominal pain, *JAMA.* 250(24):3283.
- [11] McGill, SM., Grenier, S., Kavcic, N. and Cholewicki, J., 2003, Coordination of muscle activity to assure stability of the

- lumbar spine, J Electromyogr Kinesiol. 13(4):353-9.
- [12] Chang, WD., Lin, HY. And Lai, PT., 2015, Core strength training for patients with chronic low back pain, J. Phys Ther Sci. 27(3):619-22.
- [13] Martuscello, JM., Nuzzo, JL., Ashley, CD., Campbell, Bl., Orriola, JJ. and Mayer, JM., 2013, Systematic review of core muscle activity during physical fitness exercises, J. Strength Cond Res. 27(6):1684-98.
- [14] Hamid, A., Patar, MNAA. and Ayub, MA., 2012, Force Sensor Detection and Performance Evaluation of New Active System Ankle Foot Orthosis, Procedia Engineering. 41:510-15.
- [15] Wang, M-H. and Su, Y-T., 2012, Using extension method for health analysis system of a fitness device, Expert Systems with Applications. 39(17):12833-40.
- [16] Müller, I., Machado de Brito, R., Pereira, C. and Brusamarello, V., 2010, Load cells in force sensing analysis - Theory and a novel application. Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE. 13:15-19.